Autoridad del Canal de Panamá
Departamento de Ambiente, Agua y Energía

Informe Preliminar

# EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ

Por Jaime Massot

Pedro Miguel, República de Panamá
Mayo 2008

# PRÓLOGO

El aumento de la población en las ciudades de Panamá, Colón y alrededores, los megaproyectos que se están construyendo en todo el país, las numerosas actividades industriales y el uso intensivo de la energía en las zonas urbanas tienen consecuencias para el clima local y el medio ambiente, la agricultura y la salud humana. La construcción de futuras urbanizaciones y grandes proyectos, dentro y fuera de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP), repercute directamente en la disponibilidad y el uso de un recurso finito: el agua dulce. Una parte considerable de los habitantes de CHCP dispone sólo de un abastecimiento limitado o carece de suministro de agua potable y/o energía eléctrica. A medida que crece la población, aumentan las necesidades de agua y luz para fines domésticos, industriales y agrícolas.

Este informe preliminar surge por solicitud del Vicepresidente Ejecutivo del Departamento de Ambiente, Agua y Energía, ingeniero Esteban Sáenz, al Gerente Encargado de la División de Ambiente (ingeniero Carlos Vargas). En este documento se evalúan algunos proyectos con potencial hidroeléctrico para la optimización y aprovechamiento múltiple de los recursos hídricos de la CHCP. El contenido técnico es producto del trabajo conjunto de los hidrólogos Modesto Echevers y Teodolinda Atencio. La revisión del formato, edición del texto, ampliación de los temas y redacción del informe estuvo a cargo del hidrólogo Jaime Massot. Tanto Echevers, Atencio y Massot son parte del equipo de trabajo de la Sección de Recursos Hídricos dirigida por el ingeniero Jorge Espinosa.

Debido a la intima relación del potencial hidroeléctrico con el recurso hídrico se ha incluido, en este informe, una revisión de la bibliografía existente en la Biblioteca Frank H. Robinson, de la Unidad de Hidrología Operativa, ubicada en el edificio 108 de Pedro Miguel en adición a otros artículos y publicaciones disponibles en Intranet e Internet. Este documento se ha escrito, con un texto sencillo y fácil comprensión, de modo que sirva de referencia y toma de decisiones para la amplia gama de profesionales que componen el Departamento de Ambiente, Agua y Energía.

## ÍNDICE

## I. Introducción

La Autoridad del Canal de Panamá (ACP), en cumplimiento de su misión corporativa de aportar riqueza a Panamá y contribuir con nuestra gestión al bienestar, desarrollo, progreso y mejoramiento de la calidad de vida de todos los panameños, evalúa periódicamente las fuentes existentes de agua y energía con el propósito de hacer un uso más eficiente y cubrir las presentes y futuras demandas del Canal; al mismo tiempo que garantiza el abastecimiento de agua a las poblaciones y mejora el suministro de energía al país.

Este informe resume la información básica de 10 proyectos en los cuales ha sido evaluado su potencial hidroeléctrico. La información de cinco de ellos proviene del trabajo de graduación (de 1978) de los ingenieros Esteban Sáenz y Herbert Sedelmeier titulado "Evaluación del Potencial Hidroenergético de la Cuenca del Río Chagres"; tres fueron evaluados de forma muy preliminar por el Hidrólogo Modesto Echevers de la Sección de Recursos Hídricos de la ACP, uno proviene del estudio realizado por la compañía Montgomery, Watson and Harza, en Septiembre de 2003, y el ultimo fue evaluado por los ingenieros Rogelio Pinilla y Rigoberto Delgado, de la antigua División de Capacidad del Canal (ACP). Los apéndices incluyen la ubicación de cada uno de los proyectos (Mapa #1), un resumen del potencial hidroenergético en la CHCP (Cuadro #1), los caudales promedio mensuales para cada proyecto (Tablas #1 al #10) y las curvas de duración de los caudales promedios mensuales para cada uno de los proyectos (Gráficas #1 al #10).

La caída bruta fue calculada como la diferencia entre el nivel máximo de operación del embalse hasta la casa de máquinas asumiendo que ésta se encuentra a pie de presa (exceptuando el proyecto Los Hules, el cual tiene el aporte del río Trinidad mediante una presa de desviación). Las áreas de drenaje de los proyectos fueron calculadas con ARC-VIEW, por personal de la Secretaria de la Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica (SCICH) y con planímetro por el personal de la Sección de Recursos Hídricos (EACR) En este informe se utilizaron las áreas de drenaje calculadas con planímetro. La capacidad instalable, en base a políticas de operación, resultó de un análisis donde, para el caso de Alto Chagres, es el resultado de corridas de HEC-5 para simular la operación de la central. Para el cálculo de la capacidad instalable teórica se utilizó la ecuación básica de potencia: $P = 9.81 \times Q \times H \times E$. Donde Q = Caudal Medio Anual, H = Caída Bruta, y E = eficiencia.

## A. Estado del problema

Hoy día, los costos de producción de energía eléctrica, por medio de plantas termoeléctricas, tienden a ser cada día más elevados debido al creciente aumento de los precios de los combustibles derivados del petróleo. Una alternativa son los proyectos hidroeléctricos mediante la construcción de represas; sin embargo, los impactos socio ambientales son, en algunos casos, significativos y, por lo tanto, la experiencia vivida por los gestores de estas soluciones, en los últimos años, no ha sido de lo más favorable.

La construcción y operación de una represa y su respectivo embalse constituyen la fuente principal del impacto socio ambiental de un proyecto hidroeléctrico. Las grandes represas causan cambios ambientales irreversibles en un área geográfica muy extensa. Durante la última década, los críticos más severos sostienen que los costos sociales, ambientales y económicos de estas represas pesan más que sus beneficios y que, por lo tanto, no se justifica la construcción de éstas. Otros mencionan que, en algunos casos, los costos ambientales y sociales pueden ser evitados o reducidos, a un nivel aceptable, si se evalúan cuidadosamente los problemas potenciales y se implantan medidas correctivas o de mitigación.[1]

Debido a lo anterior y la rápida recuperación de la inversión de los proyectos termoeléctricos y otras fuentes de generación de energía eléctrica (eólicas, solares, etc.) en comparación con los hidroeléctricos, estos últimos han sido rezagados a segundo plano aun cuando son proyectos con beneficios múltiples ya que permiten, por lo menos los ubicados dentro de la CHCP, optimizar el manejo del recurso hídrico mediante la generación hidroeléctrica al evitar derrames en caso de exceso de agua, controlar inundaciones y sedimentos, almacenar agua dulce para el suministro de las poblaciones, riego, recreación, pesca, navegación, etc.

---

[1] Libro de Consulta para Evaluación Ambiental (Volumen I; II y III). Trabajos Técnicos del Departamento de Medio Ambiente del Banco Mundial.

## B. Objetivo

Evaluar en gabinete el potencial hidroeléctrico de 10 proyectos en la CHCP y documentar los aspectos de mayor importancia en relación a los recursos hídricos y la generación de energía eléctrica.

## C. Alcance

1. Sólo se presentan, en este informe preliminar, los proyectos con potencial hidroeléctrico seleccionados por los hidrólogos Echevers y Atencio. No se evaluaron otros posibles proyectos, sin embargo, se sugiere incorporar en el informe final otros proyectos evaluados por la ACP dentro y fuera de la CHCP.
2. En esta etapa preliminar, no se consultó con el personal profesional de otras secciones o divisiones de la ACP. Dependiendo de la prioridad y seguimiento, que la alta gerencia decida, se deben conformar los respectivos grupos de trabajo (a lo interno o externo de la ACP) para realizar un estudio más profundo.

## D. Limitaciones

1. Se han mantenido los sistemas de unidades de las referencias utilizadas, es decir, el sistema inglés en la revisión bibliográfica y el sistema internacional en la presentación de los resultados. Dependiendo del alcance que se desee, se puede utilizar un sólo sistema en el informe final o ambos si así se decide.
2. Debido a que este es un informe preliminar se ha limitado, a un mínimo, la inclusión de ilustraciones. Sólo se han incluido (cuadro resumen, tablas y figuras) aquellas directamente relacionadas con los proyectos, con potencial hidroeléctrico, seleccionados. Otras ilustraciones, que mejoran notablemente la calidad y comprensión del tema, se pueden ir incorporando de acuerdo al texto que se mantenga luego de las revisiones gerenciales.
3. En la metodología puede observarse el tiempo invertido en esta asignación. Como todo proyecto o asignación, una mayor disponibilidad de tiempo y recursos repercuten en la magnitud y calidad del producto final. Igualmente, la formación de un grupo técnico de trabajo, que incluya profesionales expertos de

otras divisiones es imperativo para el desarrollo y continuidad de un estudio de esta envergadura.

4. Aun cuando el formato de este documento sigue el patrón de un informe preliminar, considero necesario revaluar este aspecto ya que, por su contenido y alcance, está más relacionado a una propuesta o anteproyecto que destacaría, entre otros puntos, un cronograma de trabajo para su ejecución.

## E. Definición de términos

1. Agua Disponible: La cantidad de agua que puede ser retirada de un reservorio e incluye el almacenaje disponible más la escorrentía neta durante el período en consideración.
2. Ambiente: Conjunto de condiciones físicas y biológicas de un lugar que influyen y condicionan la vida, el crecimiento y la actividad de los seres vivos.
3. Año de Flujos Mínimos: Período de 12 meses seguidos de escorrentía mínima que puede empezar en cualquier momento pero usualmente coincide con el final de la época seca, cuando el almacenamiento del reservorio se encuentra en su punto más bajo, y continua hasta la siguiente época seca. En esencia, son los 12 meses de flujos mínimos de un período de dos años.
4. Caudal: Volumen de agua que pasa a través de una sección en la unidad del tiempo.
5. Central o planta termoeléctrica: Instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de algún combustible fósil como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica. Este tipo de generación eléctrica es contaminante pues libera dióxido de carbono.
6. Cuenca hidrográfica del canal: Área geográfica cuyas aguas, superficiales y subterráneas, fluyen hacia el canal o son vertidas en éste, así como en sus embalses y lagos.
7. Embalses: Los constituyen los Lagos Gatún, Alhajuela y Miraflores y cualquier otro embalse que sea construido en el futuro, dentro de la Cuenca Hidrográfica del Canal.
8. Estructuras hidráulicas: Constituidas por la presa y vertedero de Madden, la presa y vertedero de Gatún, el vertedero de Miraflores y cualquier otra estructura

adicional de este tipo que sea construida en el futuro, dentro de la Cuenca Hidrográfica del Canal.

9. Esclusaje: El paso completo de un barco o un grupo de ellos de un océano a otro donde sólo una cámara de agua es derramada en las esclusas de Gatún y Pedro Miguel independientemente del número o tamaño de los barcos.
10. Evaluación sobre el impacto ambiental: Identificación sistemática de los impactos potenciales positivos y negativos, de los proyectos, planes, o programas propuestos, relativos a los componentes físico-químicos, biológicos, culturales y socioeconómicos del ambiente total. El propósito primordial de este proceso es el de proponer y seleccionar las mejores alternativas que, cumpliendo con los objetivos propuestos, optimicen los beneficios y disminuyan los impactos no deseados.
11. Generación de energía eléctrica: Consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica, sea esta hidráulica, química, mecánica, térmica, luminosa, etc., en energía eléctrica. Para la generación industrial de energía eléctrica se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas y constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.
12. Impacto ambiental: Alteración del medio natural o modificado como consecuencia de cualquier actividad, que pueda afectar la existencia de la vida humana, así como los recursos naturales renovables y no renovables del entorno.
13. Presa o represa: Muro fabricado con piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río, arroyo o canal con la finalidad de contener el agua en el cauce fluvial para su posterior aprovechamiento en abastecimiento o regadío, para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego, o para la producción de energía mecánica al transformar la energía potencial del almacenamiento en energía cinética, y ésta nuevamente en mecánica al accionar la fuerza del agua un elemento móvil. La energía mecánica puede aprovecharse directamente, como en los antiguos molinos, o de forma indirecta para producir energía eléctrica, como se hace en las centrales hidroeléctricas.
14. Proyectos hidroeléctricos o hidroenergéticos: Incluyen las represas, los reservorios, los canales, los conductos, las centrales hidroeléctricas y las playas

de distribución que se emplean para generar electricidad. La represa y el reservorio pueden ser multipropósitos.

15. Sequía Hidrológica: Un período de tiempo anormalmente seco, lo bastante prolongado para dar lugar a una escasez de agua, que se refleja en la disminución, inferior a lo normal, de los niveles de escorrentía y los lagos.

## II. Revisión bibliográfica

### A. La importancia del recurso hídrico y su estudio[2]

El artículo 316 de la Constitución Política de Panamá confiere a la ACP la responsabilidad por la administración, mantenimiento, uso y conservación de los recursos hídricos de la CHCP. Dentro de las funciones más importantes que la ley le otorga a la ACP se encuentra el estudio, control y evaluación de la cantidad y calidad de los recursos hídricos en la CHCP, para garantizar el abastecimiento de agua para consumo de las poblaciones aledañas y el funcionamiento del Canal. Por esta razón, una de las tareas básicas que desarrolla la ACP, por medio de la Unidad de Hidrología Operativa de la Sección de Recursos Hídricos, de la División de Ambiente, es la medición de los recursos hídricos, y para ello instala, opera y mantiene la red hidrometeorológica en la CHCP y áreas operativas.

La planificación del aprovechamiento de los recursos hídricos necesita apoyarse en una serie de datos hidrometeorológicos confiables, que permita conocer tanto los recursos hídricos de que se dispone como los caudales extremos que podrían ser utilizados con fines diversos, por ejemplo, delimitar las zonas de inundación, dimensionar futuras obras hidráulicas u otorgar concesiones de agua. Estos registros constituyen, además, el punto de partida insustituible para todo estudio hidrológico, hidráulico y ambiental.

La red de estaciones hidrometeorológicas operadas por la ACP consiste de 52 estaciones activas. La mayoría de ellas son telemétricas que registran y transmiten datos de diferentes parámetros en tiempo real: elevaciones de los ríos (11), elevación de los lagos (9), nivel de las mareas (2), precipitación pluvial (49), temperatura del mar (2) y otros datos meteorológicos como temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, humedad

[2] Información tomada del “Anuario Hidrológico 2007” publicado en abril de 2008.

relativa, radiación solar total y presión barométrica (10). Actualmente se realizan aforos de ríos una vez por mes en 10 estaciones y se miden sedimentos suspendidos en siete.

### B. Sección de Recursos Hídricos[3]

Es la responsable de garantizar la disponibilidad de agua de la CHCP, mediante su aprovechamiento óptimo, para el consumo de las ciudades de Panamá, Colón y áreas aledañas; el tránsito eficiente y seguro de buques de océano a océano; y la hidrogeneración de energía eléctrica. Lo anterior lo logra a través de la estimación y pronóstico de la precipitación, escurrimiento de los ríos, y niveles de los ríos y lagos de la CHCP; de la operación y mantenimiento de su red hidrometeorológica; el almacenamiento, procesamiento y análisis de los datos hidrometeorológicos; la coordinación del Programa de Mantenimiento del Sistema de Represas y Vertederos para garantizar la captación y el manejo del recurso hídrico aprovechable; y el Programa de Manejo de Inundaciones para salvaguardar vidas y bienes.

Para asegurar la eficiente administración del recurso hídrico, la Sección se encarga de colectar y mantener información relacionada con la precipitación pluvial, utilización de aguas, fenómenos atmosféricos y niveles de los lagos. Esta información es procesada y analizada para usarse como base para la administración de los tránsitos por el Canal, suministros de agua para uso municipal, para la generación de electricidad y el control de inundaciones. La Sección conduce estudios de la ocurrencia y características de las inundaciones y períodos de sequía, operaciones hídricas, sedimentación, lluvias y pronósticos sobre precipitaciones.

Además de controlar los niveles de agua en los lagos Alhajuela y Gatún, se pronostican los niveles mínimos de los lagos para asegurar la navegación por el lago Gatún, y se crean los parámetros de operación de las instalaciones de control hídrico. Se pronostican los estados de los ríos y afluentes de la cuenca, y se colectan muestras de sedimento en sitios de medición preestablecidos. Con toda esta información se desarrollan reportes estadísticos comparativos para la toma de decisiones.

---

[3] http://infored.acp/ea/eac/recursos-hidricos/hidrometeorologia.html

### C. El complejo hídrico de la CHCP[4]

El complejo hídrico que surte al Canal de Panamá está compuesto por la subcuenca y lago Alhajuela que tienen una superficie, a una elevación de 252 pies, de 396 millas$^2$ y 19.4 millas$^2$, respectivamente. El volumen operacional de este reservorio, regulado entre las elevaciones de 190 pies y 252 pies, es de 23,000 MPC. El lago Alhajuela se formó luego de la finalización de la represa de Madden en el año 1935. Este reservorio representa la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Panamá y alrededores del corredor transístmico.

La cuenca del lago Gatún, también llamada la cuenca tradicional del Canal de Panamá o antiguamente la cuenca del río Chagres, comprende un área de drenaje total de 1289 millas$^2$; la cuenca inferior (excluyendo Alhajuela) tiene un área de 893 millas$^2$. La superficie del lago, a una elevación de 87.5 pies, es de 168.4 millas$^2$. Según las reglas de operación actuales, su capacidad útil es 27,000 MPC, o sea, entre los niveles de 81.5 pies y 87.5 pies. El lago Gatún fue creado artificialmente en el año 1913 con el represamiento del río Chagres cerca de su desembocadura en el Atlántico.

El lago Miraflores, con un área de drenaje de aproximadamente 37.4 millas$^2$, estaba fuera de la cuenca original del Canal, sin embargo, forma parte de acuerdo a la Ley #19 del 11 de junio de 1997 (ver definiciones). La superficie del lago, a una elevación de 54 pies, es de 1.52 millas$^2$. La reserva de agua disponible entre las elevaciones de 53 y 55 pies es de, aproximadamente, 87 MPC.

Estos tres lagos artificiales regulan el escurrimiento y permiten la operación por gravedad de las esclusas del Canal. La alimentación hidrográfica de ellos es netamente pluvial, producto de las colisiones de los frentes fríos y calientes sobre el Istmo. Las represas cuentan con aliviaderos para desalojar grandes volúmenes de agua cuando se alcanzan los máximos niveles operacionales.

---

[4] Texto actualizado del "Análisis de las conclusiones del Estudio de las Alternativas al Canal de Panamá mediante la aplicación de un modelo de simulación de operaciones" publicado en el año 2000.

Según los registros de la ACP, los ríos en los que escurre la mayor cantidad de agua son (en orden descendente) el Chagres, Pequení, Ciri Grande, Boquerón, Trinidad, y Gatún. Estos seis tributarios, que representan el 60% de la superficie de drenaje, aportan un poco más de la mitad de agua que escurre a los embalses. El caudal promedio anual de estos ríos (en $p^3/s$) y su rendimiento (en $p^3/s/mi^2$), medidos en las estaciones hidrométricas, fue para el año 2007, del siguiente orden: Chagres en Chico (1415 / 8.8), Pequení en Candelaria (592 / 11.4), Ciri Grande en Cañones (425 / 5.9), Boquerón en Peluca (308 / 8.8), Trinidad en El Chorro (299 / 4.5), y Gatún en Ciento (271 / 6.0)[5]

La CHCP puede considerarse como área de alta pluviosidad. Esta es estacional y varía desde un máximo en la costa Atlántica a un mínimo en el Pacífico. Utilizando el período de 1974 a 1998, el promedio anual de precipitación de la cuenca tradicional es de 1,150 pulgadas.

## D. Usos de las aguas en el Canal[6]

La ACP administra el recurso hídrico de la CHCP para proveer suficiente agua para el consumo de las poblaciones aledañas y el eficiente funcionamiento del Canal, generar energía eléctrica, y proveer agua para otros usos o actividades de terceros aprobadas por la ACP.

El uso que demanda mayores recursos hídricos es el tránsito de los barcos. Colocando como referencia los últimos diez años, de 1998 a 2007, tenemos que un promedio anual de 86,556 MPC (55%) se destinó al paso de los barcos. El uso del agua para el tránsito de los barcos varía anualmente y exhibe los valores mínimos en los años que se presenta el fenómeno de El Niño.

En segundo lugar, en empleo de los recursos hídricos del Canal, esta la generación hidroeléctrica. Es importante mencionar que sólo se considera la generación de la hidroeléctrica de Gatún ya que las aguas de la hidroeléctrica de Madden no salen del sistema sino que, por el contrario, pasan al lago Gatún.

---

[5] Caudales promedios anuales de acuerdo al Anuario Hidrológico 2007.
[6] Op. Cit.

Una vez las aguas llegan al cauce del Canal, son nuevamente aprovechadas ya sea para el consumo de la población, generación hidroeléctrica o navegación. El promedio anual del volumen de agua utilizado para la generación hidroeléctrica en la planta generadora de Gatún, los últimos 10 años, es de 57,959 MPC (37%), sin embargo, en los períodos secos esta generación se reduce a cero.

El agua para consumo residencial, comercial e industrial durante el período de 1998 a 2007 fue de 11,354 MPC (4%) e incluye la extracción en el lago Alhajuela y Gatún. Aun cuando esta cifra es baja y se había mantenido casi uniforme en los últimos años debido a que las plantas potabilizadoras ya funcionan a su máxima capacidad; esto ya no es el caso. Es importante destacar que, si bien el consumo de la población representa el menor porcentaje en cuanto a cantidad de agua utilizada, es de vital importancia y constituye la principal prioridad de la ACP.

Finalmente, cuando los lagos sobrepasan su máxima capacidad es necesario realizar vertidos de agua para disminuir los niveles y evitar daños a las infraestructuras del Canal y poblaciones situadas en las riberas de los lagos. Debido al incremento de la demanda de agua en la CHCP, en los últimos años y una mejor administración por parte de los profesionales panameños, esta cifra ha ido disminuyendo drásticamente.

## E. Manejo de las aguas en el Canal[7]

El objetivo de la administración del Canal, en relación al recurso hídrico, es principalmente el de proveer el agua suficiente para la población y las esclusas, con un calado mínimo permisible de 39 pies con 6 pulgadas, todo el año; prevenir el posible cierre del Canal debido a daños causados por inundaciones y, de ser factible, usar el excedente de agua para producir energía eléctrica para suplir (como mínimo) su propia demanda. A tal fin, la ACP realiza actividades de pronóstico y control de niveles de los lagos; operación del sistema de prevención de inundaciones; y opera estaciones hidrometeorológicas para la recolección, almacenamiento y análisis de los registros hidrográficos y meteorológicos. Maneja también un plan de contingencia en caso de derrames.

---

[7] Ibid.

La precipitación es sin dudas el factor crítico para garantizar estos objetivos, pero la regulación minuciosa del agua, una vez se encuentra depositada en los lagos es la clave.

Los lagos deben tener un nivel máximo al principio de la temporada seca para garantizar un calado adecuado durante todo el periodo subsiguiente en que las salidas de agua de la CHCP son mayores que las entradas. De no lograrse este objetivo (niveles máximos al inicio de la temporada seca) podrían esperarse dificultades en la operación de los embalses que pueden conducir a restringir el calado por varios meses, lo que se traduce en pérdidas de ingresos y, lo que es peor, la confianza y satisfacción de los usuarios.

Por otro lado, en los meses finales de la estación lluviosa un evento de precipitación extraordinaria, ante la limitación existente en la capacidad de almacenamiento de los lagos, puede poner en riesgo las estructuras del Canal y la seguridad de las poblaciones aledañas. El riesgo de inundaciones y la dificultad para su control se hace crítico cuando las planicies naturales de inundación de los ríos son ocupadas por asentamientos humanos, como sucede en las márgenes del río Chagres, en su tramo medio, o las márgenes de los lagos Alhajuela y Gatún. Esta situación se empeora con la denudación del suelo (deforestación), que afecta la capacidad o índice de infiltración del suelo que, a su vez, permite la erosión y el transporte de los sedimentos hasta depositarse en los embalses (disminuyendo su capacidad operacional).

Es deseable que, en condiciones normales, la estación seca se inicie con ambos lagos llenos, después de haber mantenido una capacidad adecuada de almacenamiento ante la posibilidad de inundaciones durante la estación lluviosa. Lo anterior se logra combinando la generación hidroeléctrica con los aportes, demandas y minimizando las pérdidas.

Es esencial para la administración óptima del recurso hídrico la obtención (en tiempo real) de la información precisa, oportuna y confiable de la red hidrometeorológica telemedida en adición a otras herramientas para la toma de decisiones (imágenes de radar, satélite, etc.). El sistema de telemetría actúa además como un dispositivo de advertencia temprana para las inundaciones, durante la estación lluviosa, cuando los lagos están acercándose a su máxima capacidad de almacenamiento.

### F. Las sequías y sus efectos en el manejo de los recursos hídricos[8]

Las sequías, desde el punto de vista hidrológico, pueden definirse como un período durante el cual los caudales son insuficientes para suplir los usos establecidos bajo el sistema actual de administración de recursos hídricos. Parece que no es posible dar una definición más específica porque cada situación o posible escenario debe ser analizado por separado.

Comúnmente, el hidrólogo tiene que estudiar las sequías desde dos puntos de vista. Puede estar involucrado en el estudio de caudales mínimos que pueden restringir el abastecimiento de aguas obtenido de una estructura de derivación sin almacenamiento alguno y que puede ser una condición crítica para el otorgamiento de permisos o concesiones de extracción de agua. También puede estar interesado en períodos largos de flujos mínimos que pueden afectar el rendimiento de un embalse.

En períodos críticos, como en los casos que se presenta el fenómeno de El Niño, la escorrentía disminuye drásticamente. Históricamente, se presentan cada cierto periodo de tiempo (1997-98, 1982-83, 1976-77, 1930-31, etc.), sin embargo, los últimos eventos han sido los más intensos y es posible, debido al cambio climático, que los próximos extremos hidrológicos (sequías e inundaciones) sean más severos. El evento de 1997-98 ocupa el primer lugar de flujos mínimos que más afectó las operaciones del Canal desde su construcción (1914). De presentarse alguna sequía, similar o mayor que las anteriormente mencionadas, se tendrán que implementar restricciones de calado al tráfico de los buques y medidas de ahorro de agua y electricidad.

### G. ¿Existe promisorio futuro para la hidroelectricidad? [9]

Los precios del petróleo siguen en aumento a raíz de los conflictos políticos y sociales y la alta especulación sobre un producto altamente inelástico, es decir que cuando el precio sube muy drásticamente, la demanda logra reducirse muy poco, pues se trata de un producto cuyos derivados no pueden conseguir una alternativa inmediata. Los países de Latinoamérica y el Caribe, principalmente aquellos con alta dependencia hacia el crudo y

---

[8] Ibid.
[9] El artículo original por Alvaro Ríos Roca (Secretario Ejecutivo de la Organización Latinoamericana de Energía) fue adaptado y actualizado en este informe.

sus derivados, están siendo golpeados por esta realidad. Los efectos se están dando a nivel mundial y el tope psicológico de 100 balboas el barril fue superado meses atrás.

América Latina y el Caribe tienen todavía un gran potencial hidroeléctrico por desarrollar. En toda esta amplia región, hasta el año 2004, se habían desarrollado únicamente el 26% del potencial hidroeléctrico total conocido hasta la fecha. De la misma manera, las estadísticas señalan que para el mismo año, el 56% de la producción total de electricidad se generó por centrales hidroeléctricas.

Otra marcada tendencia en la región muestra que entre 1980 y 1995, la capacidad instalada de termoelectricidad crecía a una tasa promedio anual de 2.2%. En el mismo período, las estadísticas nos demuestran que el crecimiento de la capacidad instalada para la hidroelectricidad crecía con una tasa promedio anual del 5.5%.

A partir de 1995, esta tendencia se revierte muy drásticamente y para el período 1995 al 2004 la tasa de crecimiento de capacidad instalada de termoelectricidad fue de 6.3%, mientras que para la hidroelectricidad en el mismo período fue de 2.6%.

Este fenómeno y cambio significativo en la participación hidroeléctrica vs. térmica, es posible relacionarlo con las reformas estructurales del sector energético en casi todos los países de la región. Es decir, que el capital privado prefiere invertir sus recursos en proyectos térmicos, muy en especial con gas natural, en base a las eficientes turbinas de ciclo combinado. Esto es totalmente natural porque la termoelectricidad presenta una serie de ventajas comparativas para el inversionista.

Entre estas ventajas, se pueden mencionar las siguientes:

- Un menor costo unitario de inversión inicial de 500 a 600 US$/MW para las termoeléctricas contra un costo de 1,000 a 1,500 US$/MW para la hidroelectricidad;
- Los altos costos unitarios hacen que el periodo de recuperación de la inversión sean mucho mas largos para la hidroelectricidad que se traduce en un mayor riesgo financiero, que se ve muy agravado por la inseguridad jurídica reinante en buena parte de los países de la región;
- Tiempos de desarrollo e implementación, donde para una central hidroeléctrica se requieren entre 3 a 5 años y para las termoeléctricas entre 8 meses a un año;

- Los aspectos ambientales también juegan en contra de la hidroelectricidad en la etapa de aprobación de los proyectos, donde se deben pasar revisiones muy severas relacionadas a la alteración del medio biótico;
- En un ambiente de alta competitividad o cambio a las reglas de juego, una termoeléctrica puede ser trasladada a otra parte del planeta, situación que no ocurre con la hidroelectricidad que se construye específicamente para el aprovechamiento.

Los anteriores puntos son muy conocidos en el ámbito energético, pero es vital considerar uno muy particular, que dentro de lo anterior, pesa mucho también, en el hecho de que los países desarrollados, al haber agotado su potencial competitivo de hidroelectricidad, están haciendo muy escaso desarrollo tecnológico y de mercado de la este energético.

Si bien el desarrollo de capacidad instalada ha sido preponderantemente térmico en vista de los puntos señalados anteriormente, la coyuntura de precios de gas natural que vive, no solamente la región, sino el mundo entero, en relación a la “commoditizacion” del precio, que sigue muy de cerca los precios del petróleo y sus derivados, resulta en un hecho que debe hacer reflexionar a los actores del sector energético latinoamericano y del Caribe para dar también impulso al potencial hidroeléctrico que se tiene.

La región debe tal vez poner atención a lo que acontece en materia de desarrollo hidroeléctrico en Chile, donde hace unos tres años fue inaugurada oficialmente la central hidroeléctrica de Ralco, uno de los mayores emprendimientos de los últimos tiempos, no sólo en Chile, sino en toda América Latina, con 690 MW.

¿Será que Latinoamérica deba observar e imitar el modelo eléctrico chileno, que debidamente orientado y con certidumbre en las reglas de juego, está permitiendo que las restricciones que se han mencionado en la presente entrega, no sean óbice para usar un potencial energético que la región dispone en abundancia y es una alternativa económica muy viable?

## H. La División de Energía[10]

Su función principal es generar la energía eléctrica necesaria para las operaciones del Canal de Panamá, y el excedente se comercializa en el mercado eléctrico mediante contratos con las compañías distribuidoras y el mercado ocasional. Opera y mantiene dos centrales de generación hidroeléctrica y una planta termoeléctrica. El sistema eléctrico en su totalidad tiene una capacidad instalada de 175 MW, de los cuales 60 MW son en generadores hidráulicos y 115 MW en plantas térmicas.

La generación hidroeléctrica es dependiente del régimen pluvial y de la autorización de la Sección de Recursos Hídricos de la ACP para el uso del agua para estos propósitos. Es posible utilizar el agua acumulada para la producción de energía eléctrica, siempre que se puedan mantener los niveles óptimos que garanticen el paso de los barcos y la obtención de agua potable para la planta potabilizadora de Chilibre que suple la ciudad de Panamá.

## I. Beneficios de los proyectos hidroeléctricos[11]

El beneficio obvio es la energía eléctrica, la misma que puede apoyar el desarrollo económico y mejorar la calidad de la vida en el área servida. Los proyectos hidroeléctricos requieren mucha mano de obra y ofrecen oportunidades de empleo. Los caminos y otras infraestructuras pueden dar a los pobladores mayor acceso a los mercados para sus productos, escuelas para sus hijos, cuidado de salud y otros servicios sociales. Además, la generación de la energía hidroeléctrica proporciona una alternativa para la quema de los combustibles fósiles que permite satisfacer la demanda de energía sin producir agua caliente, emisiones atmosféricas, ceniza, desechos ni emisiones de $CO_2$.

Si el reservorio es realmente una instalación de usos múltiples, es decir, si los diferentes propósitos declarados en el análisis económico no son mutuamente inconsistentes, los otros beneficios pueden incluir el control de las inundaciones y la provisión de un suministro de agua más confiable y de más alta calidad para riego, uso doméstico e industrial. La intensificación de la agricultura, localmente, mediante el uso del riego, puede, a su vez, reducir la presión que existe sobre los bosques primarios, los hábitats intactos de la fauna,

[10] http://infored.acp/ea/eae/electricidad.html
[11] http://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroeléctrica

y las áreas en otras partes que no sean adecuadas para la agricultura. Asimismo, las represas pueden crear pesca en el reservorio y posibilidades para producción agrícola en el área del reservorio que pueden compensar con creces las pérdidas sufridas por estos sectores debido a su construcción.

### J. Plantas de generación hidroeléctrica en la CHCP[12]

1. Madden

Está ubicada a 25 millas de la ciudad de Panamá, en el poblado de Chilibre, y forma parte de la represa del mismo nombre, la cual se encuentra en el antiguo cauce del río Chagres cerca de lo que era el poblado de Alhajuela. Su nombre es en honor a Martín B. Madden quien fuera el director del comité para determinar el sitio de construcción de la represa. Cuenta con tres turbinas Allis Chalmers y tres generadores General Electric de 12 MW cada uno para una capacidad instalada total de 36 MW.

2. Gatún

Se encuentra a un costado de la represa del mismo nombre, localizada a 10 millas de la ciudad de Colón al extremo Noreste del lago Gatún. Inició operaciones en julio de 1914. La planta consta de seis generadores General Electric (3 unidades de 3 MW y 3 de 5 MW) con turbinas de reacción tipo Francis, marca Pelton, con una capacidad máxima de generación de 24 MW a una cabeza de agua de 86 pies.

## III. Metodología

Los pasos seguidos y duración de las tareas, para la confección de este informe, fueron los siguientes:

- Lectura del informe de los hidrólogos Atencio y Echevers (mayo 14 / 0.25 horas)
- Vuelo de inspección y fotografías aéreas de los ríos tributarios, con potencial hidroeléctrico, de la subcuenca del lago Alhajuela en los posibles sitios de presa para su posible inclusión en los informes posteriores (mayo 15 / 0.50 horas)

[12] Op. Cit.

- Lectura de la bibliografía existente, relacionada al tema, en la Biblioteca Frank H. Robinson y sitios de Internet e Intranet (mayo 16 / una hora)
- Edición de la introducción, información considerada y texto de los proyectos del informe de los hidrólogos Atencio y Echevers. Aplicación de un nuevo formato e inserción de un nuevo contenido en el prólogo, introducción y presentación de los proyectos. (mayo 17 / cinco horas)
- Inclusión de nuevos capítulos (revisión bibliográfica, metodología, conclusiones y recomendaciones) Repaginación del informe y mejoramiento de las gráficas (mayo 18 / diez horas)
- Revisión final e impresión de informe preliminar (mayo 19 / dos horas)

## IV. Presentación de los proyectos

### A. Alto Chagres

Ubicado aproximadamente entre las coordenadas geográficas 9º 16' 00'' de latitud Norte y 79º 30' 25'' de longitud Oeste. Fue identificado y evaluado como parte de los estudios de capacidad del Canal en relación a los sitios potenciales para incrementar el suministro de agua para el Canal. Este proyecto fue revaluado, en el 2003, por la compañía consultora Montgomery Watson Harza bajo contrato con la ACP. Como todos los proyectos ubicados en la cuenca superior del lago Alhajuela, la aguas utilizadas en la generación hidroeléctrica pueden ser nuevamente usadas por la planta hidroeléctrica de Madden y reutilizadas para diversos usos una vez lleguen al lago Gatún (agua potable para la población, paso de los barcos por el Canal, generación hidroeléctrica desde la central de Gatún, u otros).

El proyecto consiste en una planta de energía de 56 MW (mediante la operación de 2 embalses, caídas brutas aprovechables de 115 y 105 metros, y la instalación de 3 unidades generadoras de 16 MW y 1 unidad generadora de 8 MW). El aporte medio anual es 29.4 $m^3$/s. Los caudales promedios mensuales para este proyecto fueron generados por relación de área con los caudales de la estación Chico en el río Chagres. El área de drenaje, hasta el sitio del Proyecto Alto Chagres, es de 404.95 $km^2$.

Las tablas en los apéndices muestran los caudales promedios mensuales y las gráficas las curvas de duración para estos caudales. Todas las áreas fueron calculadas con planímetro

a menos que se especifique lo contrario. Esto aplica a los 10 proyectos presentados en este informe preliminar.

### B. Trancado[13]

Localizado en la parte alta del río Chagres en las coordenadas geográficas 9° 17' de latitud Norte y 79° 29' de longitud Oeste. En él se podría instalar una capacidad de cercana a los 45MW que produciría una generación anual de aproximadamente 240 GWH.

El área de drenaje, hasta el sitio de presa, es de 348.53 $km^2$ y el aporte medio anual es 25.3 $m^3/s$. Los caudales promedios mensuales para este proyecto fueron generados por relación de área con los caudales de la estación Chico en el río Chagres.

### C. Ciri Grande[14]

Emplazado en un cañón que se forma en el río, del mismo nombre, aproximadamente a unos 3.5 Km. de su desembocadura en el lago Gatún en las coordenadas geográficas 8° 57' de latitud Norte y 80° 04' de longitud Oeste. En este proyecto se podría instalar una capacidad de cerca de 14 MW.

El área de drenaje medida hasta el sitio fue de 189.45 $km^2$. El aporte medio anual calculado es de 9.60 $m^3/s$. Los caudales promedios mensuales para este proyecto fueron generados por relación de área con los caudales de la estación de Los Cañones en el río Ciri Grande.

### D. Pequení[15]

Situado en una garganta del río Pequení, aguas abajo de la estación de Candelaria, aproximadamente en las coordenadas geográficas 9° 22' de latitud Norte y 79° 32' de longitud Oeste. Se prevé que la potencia instalada podría estar cerca de los 15 MW y produciría una generación anual de aproximadamente 79 GWH.

---

[13] Referencia: "Evaluación del Potencial Hidroenergético de la Cuenca del Río Chagres" de los ingenieros Esteban Sáenz y Herbert Sedelmeier (1978)

[14] Ibid.

[15] Ibid.

El área de drenaje es de 155.25 km$^2$. El aporte medio anual es 15.9 m$^3$/s. Los caudales promedios mensuales para este proyecto fueron generados por relación de área con los caudales de la estación Candelaria en el río Pequení.

### E. Trinidad[16]

Ubicado cerca de las coordenadas geográficas 8° 56' de latitud Norte y 80° 00' de longitud Oeste. La capacidad instalada puede ser de, aproximadamente, 5 MW.

Se calcula que el área de drenaje hasta el sitio del presa es de 149.58 km$^2$. El aporte medio anual igual a 5.75 m$^3$/s. Los caudales promedios mensuales para este proyecto fueron generados por relación de área con los caudales de la estación El Chorro en el río Trinidad.

### F. Gatún en Ciento[17]

Orientado alrededor de las coordenadas geográficas 9° 18' de latitud Norte y 79° 43' de longitud Oeste. La capacidad instalada puede ser alrededor de 4.6 MW.

El área de drenaje hasta el sitio del proyecto es de 114.20 km$^2$. El aporte medio anual es 6.81 m$^3$/s. Los caudales promedios mensuales utilizados para este proyecto fueron los caudales de la estación Ciento, en el río Gatún, por su proximidad con la misma.

### G. Indio Este[18]

Determinado en las coordenadas geográficas 9° 12' 25" de latitud Norte y 79° 31' 14" de longitud Oeste. La capacidad instalada puede ser de 2.5 MW.

Se calcula que el aporte medio anual es 5.83 m$^3$/s en un área de drenaje de 80.25 km$^2$. Los caudales promedios mensuales, para este proyecto, fueron generados por relación de área con los caudales de la estación de Chico ubicada en el río Chagres.

---

[16] Ibid.
[17] Identificado y evaluado preliminarmente en la Sección de Recursos Hídricos de la ACP
[18] Ibid.

### H. Caño Quebrado

Situado cerca de las coordenadas geográficas 8° 59’ de latitud Norte y 79° 51’ de longitud Oeste. De acuerdo al trabajo de graduación “Evaluación del Potencial Hidroenergético de la Cuenca del Río Chagres”, por los ingenieros Esteban Sáenz y Herbert Sedelmeier en 1978, el proyecto no es apreciable para la generación hidroeléctrica (por sus características físicas) y la capacidad instalada pudiese ser de sólo 0.4 MW.

El área de drenaje hasta el sitio del proyecto es de 41.05 $km^2$. El aporte medio anual estimado es de 1.58 $m^3/s$. Los caudales promedios mensuales para este proyecto fueron generados por relación de área con los caudales de la estación El Chorro en el río Trinidad.

### I. Los Hules

Ubicado entre las coordenadas geográficas 9º 03' de latitud Norte y 79º 49' de longitud Oeste. La subcuenca del río Los Hules se ubica entre la cuenca del río Trinidad y la subcuenca del río Caño Quebrado.

El proyecto hidroeléctrico y de multipropósito Río Trinidad - Río Los Hules aumenta la capacidad de embalse y mejora la regulación de los aportes al Lago Gatún. Este proyecto fue realizado por los ingenieros Rogelio Pinilla y Rigoberto Delgado en septiembre del año 2005.

Como beneficio adicional de este proyecto se recomienda instalar una pequeña planta hidroeléctrica al pie de la presa de Los Hules localizada a unos 12 km. al noroeste de Nuevo Emperador y a unos 2 km. al norte de la toma de aguas crudas de la planta potabilizadora de Laguna Alta.

La capacidad del proyecto sería de 5 MW. Similar a los otros proyectos ubicados en la cuenca inferior del lago Gatún, el agua utilizada en la generación en los Hules puede ser utilizada nuevamente para generar en la planta de Gatún de forma tal que los beneficios aumentan considerablemente.

El área de drenaje hasta el sitio de presa de Los Hules es de 153 $km^2$. Esta área de drenaje no pudo ser calculada con planímetro debido a que las curvas de nivel se interrumpen en el área del lago. El caudal medio anual de este proyecto es 14.2 $m^3/s$. El aporte promedio hasta el sitio de presa de Los Hules sería el aporte del río Trinidad más los aportes de Caño Quebrado y los de la subcuenca de Los Hules.

### J. Boquerón[19]

Emplazado a un kilómetro aguas abajo de la estación Peluca en las coordenadas geográficas 9° 22' 30¨ de latitud Norte y 79° 34' de longitud Oeste. Dado que se dispone de mapas 1:25000, para esta área, se pudo seleccionar tres alternativas para diferentes niveles máximos de operación: 150, 140 y 130 metros sobre el nivel del mar (msnm). El caudal promedio mensual para este proyecto es 7.25 $m^3/s$ y se obtuvo de los anuarios hidrológicos publicados para los años 1997 hasta 2006.

Para cada caída bruta aprovechable con base en los distintos niveles máximos de operación considerados, asumiendo que la casa de máquinas estará a pie de presa en la cota 85 msnm, se considera una eficiencia de 0.85. Con este valor se aplicó la ecuación básica de potencia y se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Para un nivel máximo de operación de 150 msnm., una longitud de cresta de 671 m y una caída bruta de 65 m la potencia es de 3.9 MW.
2. Para un nivel máximo de operación de 140 msnm., una longitud de cresta de 594 m y una caída bruta de 55 m la potencia es de 3.3 MW.
3. Para un nivel máximo de operación de 130 msnm., una longitud de cresta de 495 m y una caída bruta de 45 m la potencia es de 2.7 MW.

## V. Conclusiones y recomendaciones

1. El eficiente manejo del recurso hídrico de los lagos Gatún y Madden quedó claramente demostrado y publicado en la "Evaluación Preliminar de la Aplicación y Cálculo del Índice de Sostenibilidad de Cuenca en la Cuenca Hidrográfica del Canal

[19] Ibid.

de Panamá" que cubría las operaciones, en la CHCP, hasta el año 2005. Debido a la relación con el contenido de este informe se aconseja actualizar los resultados.[20]

2. La demanda actual y futura de agua en la CHCP y el ascendente costo de la energía eléctrica hacen impostergable el análisis de todas las posibles alternativas. La planificación del uso de los recursos hídricos, considerando que las obras involucradas como represas, hidroeléctricas, sistemas de abastecimiento de agua potable, líneas de transmisión, etc. (para citar solo algunos ejemplos) tienen un período de construcción de varios años y una vida útil de algunos decenios, se sugiere incorporar este estudio de factibilidad (con cronograma de trabajo) en el plan de Desarrollo Sostenible y Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la CHCP y actualizarse, periódicamente, por los responsables de su ejecución.
3. La disponibilidad de agua en la CHCP, en los últimos 10 años (1998-2007), muestran una disminución del recurso en comparación con el promedio histórico (1917-2007). Esto parámetro depende, exclusivamente, de elementos externos (clima) que, de ninguna manera, pueden ser mitigados por la acción de la ACP u otras instituciones, sin embargo, hacen imperativo optimizar su uso y/o mantener o mejorar las estructuras que considere necesarias dentro de la CHCP para cumplir los objetivos señalados por el Acuerdo No. 116 del 27 de julio de 2006.
4. Una evaluación más exhaustiva de la información hidrológica de los proyectos presentados en este informe (u otros que se examinen en estudios posteriores) y la posible ejecución de alguno de ellos repercutirá, directamente, en el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la ACP ya que se logrará incrementar la rentabilidad de la empresa de forma sostenible para el beneficio del país, expandir la oferta de servicios y productos para aprovechar las oportunidades del mercado, implementar prácticas de negocios que fortalezcan el buen gobierno corporativo y, fundamentalmente, el administrar eficientemente, en volumen y calidad, el recurso hídrico de la CHCP.
5. Los pronósticos meteorológicos e hidrológicos a corto y mediano plazo, el balance mensual y anual de los lagos, el radiosondeo atmosférico, el mantenimiento de las estaciones hidrometeorológicas, informes mensuales de calidad de los datos (caudales líquidos y sólidos) y otros, son herramientas que han permitido mejorar considerablemente el manejo de los recursos hídricos en la CHCP. La implementación del sistema hidrometeorológico automatizado (base de datos), el

[20] http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/handle/123456789/461

próximo año fiscal, en conjunto con la revisión de los datos históricos permitirá mejorar, aun más, la información hidrometeorológica, los modelos existentes, la optimización del uso del recurso hídrico, y la generación hidroeléctrica.

6. El agua dulce en nuestro país, como en el resto del mundo, es esencial para todas las formas de actividad humana y para la propia vida. La energía eléctrica es el motor de nuestras actividades y que nos permite mantener una aceptable calidad de vida. En los últimos años se ha notado el aumento cada vez mayor de la demanda del agua y la energía eléctrica en los sectores doméstico e industrial. Es imperativo que Panamá establezca un plan estratégico adecuado para garantizar el control y aprovechamiento eficaz del agua al mismo tiempo que se exploran y desarrollan nuevas fuentes de energía (eólica, solar u otras).
7. Frecuentemente se escucha que la ACP "bota" el agua con cada esclusaje que realiza pero no se menciona que esta agua fue, lo más seguro, anteriormente "utilizada" para la generación hidroeléctrica en Madden y posteriormente "reutilizada" para el paso de los barcos por el Canal. También se desconoce que, cuando hay exceso de agua y se hace eminente desalojarla del lago Gatún para evitar inundaciones, la ACP genera energía hidroeléctrica como alternativa a los derrames controlados. Una campaña de comunicación continua es necesaria para la educación de la población y debe realizarse antes de ni siquiera evaluar, en forma exhaustiva, cualquier proyecto con potencial hidroeléctrico. La experiencia adquirida, en la antigua Región Occidental de la Cuenca de be servir como guía.
8. Las curvas guías de operación de los lagos Gatún y Alhajuela son los niveles mínimos deseables graficados a través del año. Sirven como pautas para la utilización de los recursos hídricos para el consumo humano, esclusajes, y generación hidroeléctrica teniendo en cuenta, como base, el calado mínimo requerido para el tránsito de los barcos. Las curvas actuales fueron puestas en operación por primera vez en 1980 y su diseño se basó en la información, prioridades del uso del recurso hídrico y reglas de operación existentes hasta 1979. Debido a que el criterio seguido por la administración panameña del Canal difiere grandemente del empleado hace casi 30 años; se recomienda revisar y actualizar las curvas guías de operación de los lagos de acuerdo a las prioridades, información y modelos de simulación existentes en la actualidad.[21]

---

[21] Basada en la recomendación 94-46 titulada "Desarrollo de Nuevas Curvas Guías para los lagos Madden y Gatún". Comisión del Canal de Panamá, 28 de febrero de 1994.